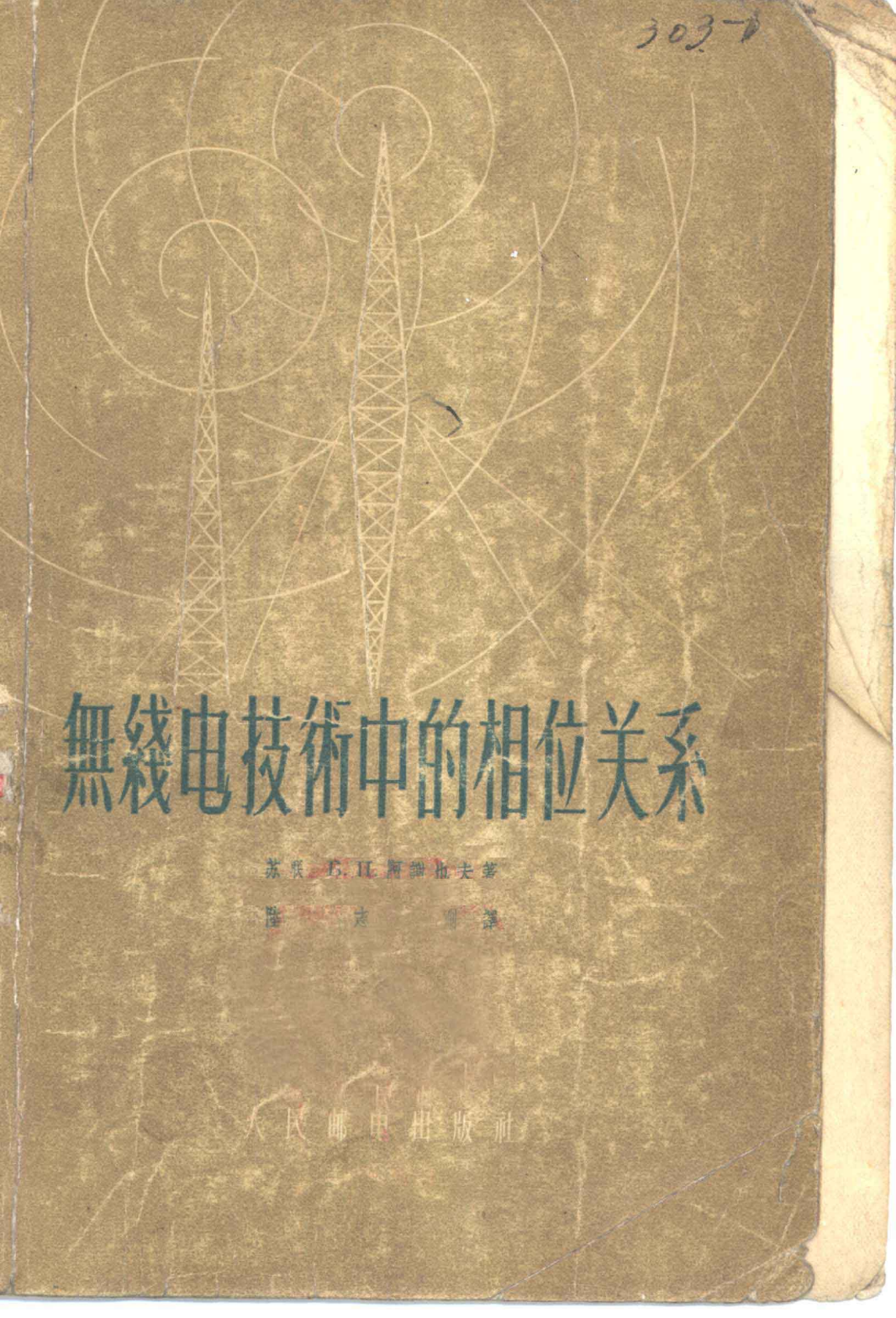


303-1



無線電技術中的相位关系

苏联 B. И. 斯米尔诺夫著

陸 定 譯

人民郵電出版社

無線電技術中的相位關係

蘇聯 Б. И. 阿謝也夫 著

陸志剛 譯

莫樞生 校

人民郵電出版社

Б. П. АСЕЕВ
ФАЗОВЫЕ
СООТНОШЕНИЯ
В РАДИОТЕХНИКЕ
ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ
СВЯЗЬИЗДАТ
МОСКВА 1954

內 容 提 要

本書研究測量和獲得相移的方法，並指出如何應用正確的相位關係來解決無線電技術中的許多問題。

本書可供通信部門的工程技術人員和通信學院的學生閱讀。

無線電技術中的相位關係

著 者:	蘇 聯 Б. П. 阿 謝 也 夫
譯 者:	陸 志 剛
校 者:	莫 梧 生
出 版 者:	人 民 郵 電 出 版 社 北京東四區六條胡同 13 號
印 刷 者:	北 京 市 印 刷 二 廠
發 行 者:	新 華 書 店

書號無 56 1956 年 4 月 北京第一版第一次印刷 1—3,000 冊
850×1168 1/32 160 頁 印張 10 字數 229,000 字 定價 (10) 1.86 元

★ 北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號 ★

目 錄

序言

引論

第一章 相移的測量	7
第一節 示波器法	7
第二節 干擾圖法	14
第三節 相位計法	22
第四節 三电压計和三电流計法	44
第二章 相移的改变	46
第一節 固定相移的獲得	46
第二節 180° 以下可变相移的獲得	51
第三節 360° 以下可变相移的獲得	63
第四節 仿真綫在改变相位上的应用	88
第三章 調制時的相位变换	107
第一節 一般概念	107
第二節 調制方式的轉变	118
第三節 調制時頻率及頻帶的分出	124
第四節 实际的电路	140
第四章 自激电子管振盪器中的相位關係	152
第一節 一般概念	152
第二節 多管电路	155
第三節 双管电路	166
第四節 RC型單管电路	193
第五節 LC型單管电路	215

第六節 具有仿真綫的單管振盪器	235
第七節 再生濾波器	241
第五章 相移在天綫及其他裝置中的应用	249
第一節 最簡單的天綫	249
第二節 閉合天綫	272
第三節 距離的測定	282
第四節 相位電報	290
第五節 利用相移的幾個補充例	298
附 錄 幾種四端網絡的矩陣表	

序 言

相位和相位關係的概念是在应用和研究了諧波運動（諧振動）以後才出現的。無線電技術中的相位關係，通常是用來說明振盪系統中电压和电流的某种性态的，它是人們在最初研究阻尼振盪的过程中知道的。

虽然相位及相位關係的概念已經知道了很久，但有關相位關係的諸問題，以及如何利用一定的相位關係等問題，还是在無線電技術中廣泛地应用了等幅振盪以後，才找到了实际的解答。在利用開關一定相位關係这种新的可能上，电子管起了很大的作用。

为了解决無線電技術中的許多实际問題，苏联学者在研究和实际应用相位關係的問題上，做出了許多新的獨創的成就。但應該強調指出，在这方面的許多重大研究，远远超越了國外專家們的“發明”。

例如，頻率分別輻射法和双路相位電報，在國外的刊物中直到1951年才当作一件新东西提出來。

在利用相位關係的領域內富有成果地工作过的許多苏联学者当中，首先應該提到 M. A. 蓬奇—勃魯也維奇他曾貢獻出無線電廣播台的頻率分別輻射理論，提出了複合短波天綫的定相方法，並且也進行了許多其他的研究工作。

Л. И. 芒傑尔什坦及 Н. Д. 帕帕萊克西研究出了準確度極高的測定距離用的無線電干擾法。А. А. 皮斯托尔柯斯提出了許多新穎的單路和多路相位電報的方法。А. И. 別尔格、Ю. Б. 柯勃柴烈夫

和 B. H. 西福洛夫在自激電子管振盪器的理論，以及 RC 型振盪器理論等方面都解決了許多複雜的問題。蘇聯無線電專家們在相位關係的研究和應用上進行的這些卓有成效的工作，使得他們在這一無線電技術部門中也起了主導的作用。

在研究任何一種現象時，首先總力圖能對被研究過程建立起數量上的估價，也就是研究出測量的電路及測量方法。找出了測量的方法和實用電路以後，研究者就有可能去研究及在數量上估計出許多對被研究過程起作用並控制這種過程的方法。當這兩先決階段完成以後，那麼便有了穩固的基礎來進行最後一個階段，也就是去研究如何利用這些被研究的現象來解決實際的問題。

當然，不是所有的研究工作都是按照上述這種方式發展的，往往幾個階段是平行地發展着；有時，某一後面的階段（通常是實際應用的階段）也會超過了前面的各研究階段。

無線電技術中關於相位關係的問題，就不是按照上述方式發展的，它經過了複雜和曲折的道路才發展起來。但為了邏輯上的嚴整性和所講材料的系統性，本書還是依照以上的方式來敘述。

本書第一章討論可能的和最常用的測量相移（相位關係）的方法。第二章講影響相移大小（改變相移的大小）的方法。接下來的兩章（第三章和第四章）就說明一定的相位關係在解決振盪和調制方面的許多實際問題時替我們開闢的許多新的可能。最後，第五章再講一些相位關係在某些無線電電路及裝置的工作中所起的作用。

本書的目的在於說明相位關係在近代無線電技術中的作用和意義，同時也用具體的例子來說明當相位關係選擇及建立得恰當時，它所開闢的前途是怎樣。

敘述這些材料的時候，作者假定讀者已經讀過了“無線電基

礎”這門課程；所以對某些材料或公式未加證明，但在註腳中都指出了參考文獻，我們可以从這些文獻中找到關於這問題的材料和所需的證明。

本書的第二版本比第一版增添了些材料。所有各章都有補充，特別在第四及第五章中補充得更多。例如，在第四章中，改寫了關於在負反饋途徑內接入橋接 T 形四端網絡以取得複反饋的電子管振盪器的那部分。在第五章中，擴充了關於最簡單天綫裝置的一節。此外，這章也新添了敘述相位電報的一節。

準備第二版本時，作者曾考慮了大家對第一版本所提的意見；作者也非常歡迎對本書提出意見和希望。

Б. П. 阿謝也夫

引 論

当研究相位在無線电技術中所起的作用時，当然首先要確定相位本身的概念。相位說明諧波振盪在某一瞬時的狀態。數學上，相位的定义可認為是正弦或餘弦函數的幅角。因此在下列表示諧波運動的式子

$$y = A \cos(\omega t + \psi) \quad (0.1)$$

中，餘弦函數的整個幅角，即 $(\omega t + \psi)$ ，就是相位。

順便說一下，給相位下这样的定义是有好处的，因为这样便能使我們对不同頻率的振盪的相移有一明確的概念。事实上，如(0.1)式所示，相位是時間的綫性函數：

$$\varphi = \psi + \omega t,$$

因而，頻率為 ω_1 及 ω_2 的兩個振盪間的相移也是時間的綫性函數。

因为，如果用 φ_1 、 φ_2 分別表示頻率為 ω_1 及 ω_2 的二諧波振盪的相位，則可得

$$\varphi_1 = \psi_1 + \omega_1 t \quad \text{及} \quad \varphi_2 = \psi_2 + \omega_2 t,$$

由此得出

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (\psi_1 - \psi_2) + (\omega_1 - \omega_2)t, \quad (0.2)$$

所以，相移是時間的綫性函數。

研究其角頻率相等($\omega_1 = \omega_2$)的二諧波振盪間的相移，對我們最有实际的意义。這時相移是一个常數，它等於所研究兩諧波振盪的初相($t=0$ 時的相位)的差。

事实上，当 $\omega_1 = \omega_2$ 時(0.2)式即成为：

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \psi_1 - \psi_2。$$

若設所研究二諧波振盪中一个的初相等於零，上式更可化簡。
因此，如果我們僅对下列二諧波振盪

$$y_1 = A\cos(\omega t - \psi_1) \quad \text{及} \quad y_2 = B\cos(\omega t - \psi_2)$$

間的相移發生兴趣，則当 $\psi_1 = 0$ 時，这相移就等於

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \omega t - \omega t + \psi_2 = \psi_2。$$

用 φ 來表示 ψ_2 ，这样我們就得出表示兩個頻率都是 ω ，且二者相位差为 φ 的諧波振盪的式子如下：

$$y_1 = A\cos\omega t \quad \text{及} \quad y_2 = B\cos(\omega t - \varphi)。$$

我們可以在向量圖(圖 0.1a)上將相移 φ 很清楚地表示出來。
上述兩個諧波振盪可以用夾有 φ 角的二固定向量 OA 及 OB (由於兩振盪的頻率相等)來表示。

通常为了分析的方便起見，往往將相移为 φ 的兩個向量置換成另兩個向量，其中一个与原來的向量 OA 或 OB 重合，而另一个則与之垂直。为明確計，可取向量 OA 为基準，將向量 OB 分解成兩個向量：一个与向量 OA 重合；另一个与向量 OA 垂直。从圖 0.16 可看出，第一个向量等於 $OB\cos\varphi$ ，而第二个即是 $OB\sin\varphi$ 。

因此，圖 0.1a 的向量系可以被兩個互相垂直的向量 $OA + OB\cos\varphi$ 及 $OB\sin\varphi$ (圖 0.16) 所代替。当然，如果在需要時，也可將圖 0.1a 的向量系換成圖 0.1b 那樣的兩個互相垂直的向量。这圖与圖 0.16 所不同的，僅是取向量 OB 为基準，而將向量 OA 分解成 $OA\cos\varphi$ 及 $OA\sin\varphi$ 二分量。

这样一來，我們既已規定了相位概念，特別是相移的概念之

後，我們再來談談以下的問題。首先將要講測量相移以及改變相移的問題，然後在後面幾章中將闡明相位關係及相位變換在無線電技術的許多實用問題上所開闢的新的可能和所起的作用。

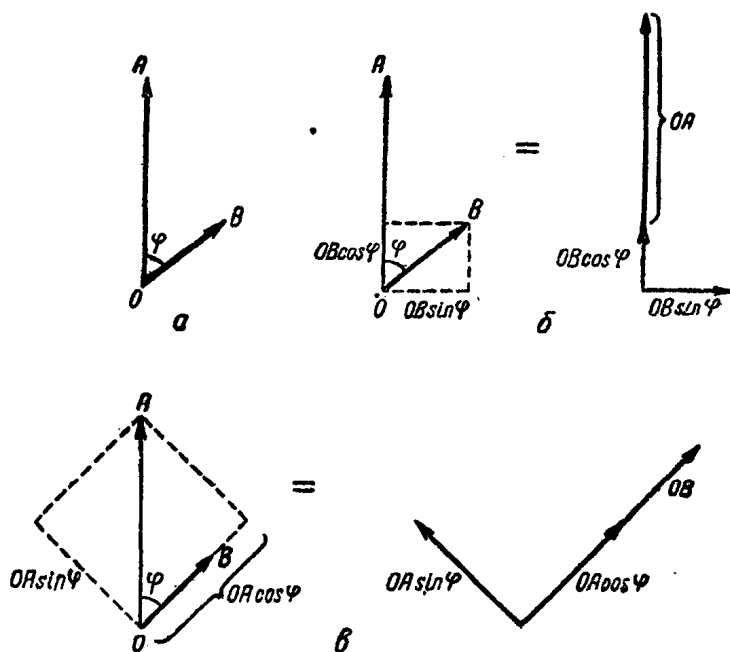


圖 0.1

第一章

相移的測量

第一節 示波器法

最簡單的同時也是最明顯的測量相移的方法，是將待測定相移的兩电压或兩电流的波形顯示出來的方法。在示波器的螢光幕上得出了所需的电压或电流波形後，就能將它攝取下來或画在透明紙上。

把波形圖佈置成圖 1.1 所示的樣子，我們就不難找出所需的相移，因為從圖 1.1 看出，相移就決定於綫段 AB 的長短。我們知道，這時整個週期（綫段 AC ）是相當於电压或电流向量迴轉 360° ，所以得出下列關係：

$$\frac{\varphi^\circ}{360^\circ} = \frac{AB}{AC}.$$

因此，待定的以度數為單位的相移是等於：

$$\varphi^\circ = \frac{AB}{AC} \cdot 360^\circ. \quad (1.1)$$

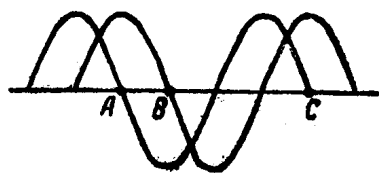


圖 1.1

在波形圖上量出綫段 AB 及 AC 之長（用同一比例尺），則按照公式 (1.1) 就能求出相移 φ 。如果我們研究的是供給某個阻抗的电压及电流間的相位關係，則所得的 φ 值，就能用來確定該複數阻抗的兩個分量。

但當比較某個裝置（放大器、濾波器、綫路等，為了討論的一

般性，可以叫它們為四端網絡）的輸入電壓及輸出電壓的相位時，最好引用信號經過該四端網絡的“通過時間”這一概念。

將四端網絡的輸入電壓及輸出電壓顯示出來後，就得出與圖 1.1 相似的波形圖。由該圖，如上所述同樣可找出四端網絡輸入電壓及輸出電壓間的相移 φ [公式(1.1)]。

如果在圖 1.1 波形圖的橫軸上，不是標以角度單位，而是標以時間 t ，則綫段 AC 等於所論電壓的週期 T ，而綫段 AB 則為“通過時間” t_n 。

由此得出

$$\frac{t_n}{T} = \frac{AB}{AC}$$

或最後寫成

$$t_n = \frac{AB}{AC} T.$$

又因為

$$T = \frac{1}{f},$$

式中 f 為所論交流電壓或電流的頻率，我們還可得出一個表示 t_n 的式子：

$$t_n = \frac{AB}{AC} \cdot \frac{1}{f}. \quad (1.2)$$

最後，將上式兩邊各乘以 10^3 ，就得出以毫秒為單位的“通過時間” t_n （這時頻率 f 的單位為千週）：

$$t_n(\text{毫秒}) = \frac{AB}{AC} \cdot \frac{1}{f(\text{千週})}. \quad (1.3)$$

我們可以用示波器來得到能確定相移 φ 或“通過時間” t_n 的波形圖（圖 1.1）。如果這時試驗電路所用的交流電源的功率很大（內阻較小），頻率也很低（音頻），則利用電磁示波器（或稱迴線示波器），能很成功地取得計算上所需的波形圖。在顯波的時候，可利用兩條有所需靈敏度的迴線。被研究的電壓或電流接於迴線上。這時為迴線上小鏡所反射出來的光束，就能在示波器暗光玻璃螢光幕上將電壓或電流的波形顯示出來。通常這種示波器亦裝有將所研究曲綫記於感光紙上的裝置。

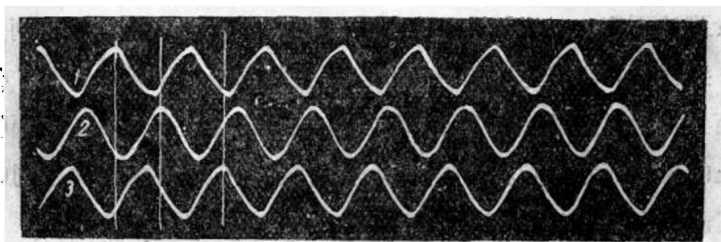


圖 1.2

圖 1.2 所示是用电磁示波器攝下的波形圖的一個例子。我們利用公式(1.1)，可算出標以 1 及 2 的兩電壓間的相移（ $-\varphi_{12}$ ），以及標以 2 及 3 的兩電壓間的相移（ $-\varphi_{23}$ ）。祇要量出計算所需的綫段長，即能求出我們所需的數值 $\varphi_{12} \approx 208^\circ$ 及 $\varphi_{12} \approx 300^\circ$ 。

在無線電綫路及設備中，特別是在無線電接收綫路及設備中研究相移時，由於電磁示波器的靈敏度低、慣性大以及輸入阻抗小，所以通常並不應用它，而是應用陰極射綫示波器。後者沒有電磁示波器裏的那些缺點。但利用陰極射綫示波器時，很難在其螢光幕上同時得出數條電壓曲綫（兩條或三條以上）；此外，攝取波形圖也比較困難。

這時，通常將透明紙放在陰極射綫管的螢光幕上，再用鉛筆描

下所需的曲綫；在極少數情況下，亦可用特種的照相機，將螢光幕上的圖形攝下。

為了能在陰極射綫示波器的光幕上同時觀察兩條或三條被研究的電壓或電流（準確地說，應是與電流正比的量）曲綫，我們或可利用特種的陰極射綫管，或者在通常的陰極射綫示波器上加裝所謂電子開關。

裝在所謂雙綫示波器（其幕上可同時得出兩條曲綫）中的特種陰極射綫管中，由於管內電極的特殊分佈，能使電子槍射出的電子注分裂為兩束。一個鋸齒形電壓振盪器的電壓同時作用於這兩束電子。這樣就保證了這兩射綫在水平面上能同步及同相地移動。但垂直面上這兩射綫的偏動互不影響，並且各自完全視加於垂直偏轉極板上的電壓而定。陰極射綫管的這種構造，便能在螢光幕上同時顯示出兩條電壓曲綫，而且它們的水平掃描綫的比例亦相同。

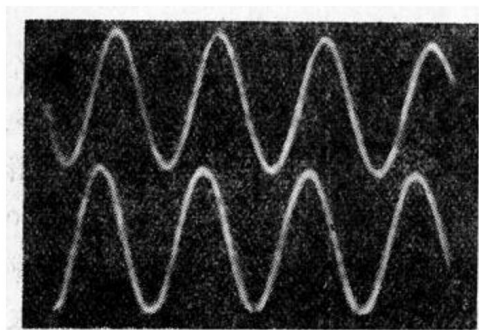


圖 1.3

圖 1.3 所示為某一四端網絡的輸入電壓及輸出電壓加於雙綫示波器時，其螢光幕上顯出的曲綫圖。量出所需的綫段長度，並按(1.1)及(1.3)式計算後，就得出相移為 $\varphi = 49^\circ$ ，及掃描電壓的頻率為 200 週時的“通過時間” $t_n = 0.68$ 微秒。

由於雙綫示波管是一件相當複雜和價值昂貴的儀器，所以在通常的陰極射綫示波器的螢光幕上，同時有兩條或兩條以上的曲綫掃描的方法是很有用的。

現在我們來研究一種在陰極射綫管螢光幕上同時得出兩條電壓曲綫的可能方法。這種方法的實質是屬於時間選擇性的一類，我們可以設法使兩個待研究的電壓作用到通常陰極射綫管的一個電子束上。這時利用特種的裝置（電子開關）使待研究的電壓輪流地送到示波器的垂直偏轉板。於是射綫管螢光幕上的曲綫是兩條虛綫（由於電壓的輪流作用，一條曲綫上的實綫段正相當於另一條曲綫上的空白段）。但因為轉換的速度相當高（供給電子開關的振盪器，它的頻率常在 10,000 週及 10,000 週以上），所以肉眼所看到的投射曲綫如同實綫一樣（圖 1.4）。

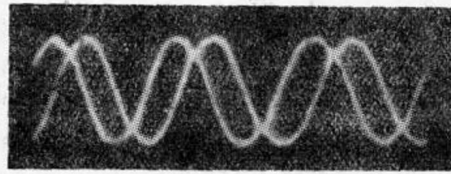


圖 1.4

現在再來講一些關於電子開關的資料。圖 1.5 的雙管電路實在就是一個電子開關。從該圖中看到，電路中利用了兩個四極管，它們有一公共負載電阻 R 。待研究的電壓 U_1 及 U_2 ，加於這兩四極管的控制柵上。而輔助的（轉換用的）正值矩形脈衝電壓則加於簾柵極；這些脈衝可由設計為這種轉換頻率的多諧振盪器 MB 取得。

接至電子開關四極管簾柵上的轉換電壓脈衝，其相位應該相反，以使四極管的工作狀態選擇得合適時，該兩管能輪流地工作並且開啓的時間等於轉換電壓的半個週期。這樣一來，接於電子開關

的控制柵上的待研究电压，就一段段地傳到負載电阻 R ，然後再送到陰極射綫管的垂直偏轉板。

可以注意一下，这种將待研究电压曲綫分段顯示的方法，在示波器螢光幕上不僅能觀察交流电压並且亦能觀察脈動电压。例如，圖 1.6 就表示在半波整流器負載上的一條整流（脈動）电压的變動曲綫。

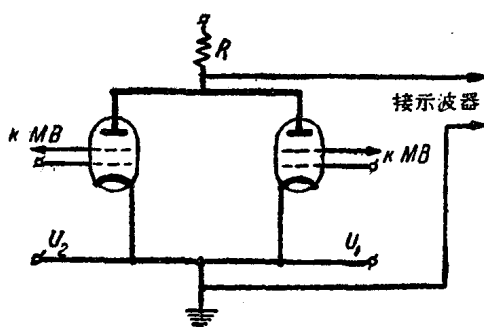


圖 1.5

为了使整个裝置（示波器及电子開關）能準確地工作，就必需使轉換脈衝具有矩形的波形。這一點是可以做到的，只要將多諧振盪器或代替多諧振盪器的其他矩形脈衝發生器調整到合適的工作状态，以及使示波器的垂直扫描放大器保證有合適的頻帶即成。如果轉換电压的頻率等於 10,000 週，則这時的頻帶应当为約 1 兆週左右。

在結束討論關於在陰極射綫管的螢光幕上同時得到數条电压曲綫的問題之前，我們再來講一种同時獲得三条曲綫的方法。为了完成这一任务，可以利用有所需頻率的三相交流电压电子管振盪器作为轉換电压的發生器（見第四章第二節）。而三相交流电压則可由通常的（單相）电子管振盪器以及具有抽头的仿真綫（見第二章第